

①

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Int. Cl.:

F 02 c, 3/00

01 k, 21/04

DEUTSCHES



PATENTAMT

②

Deutsche Kl.:

46 f, 3/00

14 h, 21/04

⑩

⑪

⑫

⑬

⑭

Offenlegungsschrift 2005 656

Aktenzeichen: P 20 05 656.8

Anmeldetag: 7. Februar 1970

Offenlegungstag: 19. August 1971

Ausstellungspriorität: —

⑮

Unionspriorität

⑯

Datum: —

⑰

Land: —

⑱

Aktenzeichen: —

⑲

Bezeichnung: Offene Gasturbinenanlage

⑳

Zusatz zu: —

㉑

Ausscheidung aus: —

㉒

Anmelder: Metallgesellschaft AG, 6000 Frankfurt

Vertreter: —

㉓

Als Erfinder benannt: Rudolph, Paul, Dipl.-Ing., 6380 Bad Homburg;
Kapp, Ernst, Dipl.-Ing., 6000 Frankfurt

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960): —
Prüfungsantrag gemäß § 28 b PatG ist gestellt —

DT 2005 656

2005656

METALLGESELLSCHAFT
Aktiengesellschaft
Frankfurt am Main
Reuterweg 14

6 Frankfurt am Main, 12. Jan. 1970
MLk/SL

prov. Nr. 6217 LW

Offene Gasturbinenanlage

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer offenen Gasturbinenanlage mit gasförmigen Brennstoffen und Verbrennungsluft, wobei die gasförmigen Brennstoffe und/oder die Verbrennungsluft vor dem Eintritt in die Brennkammer mit Wasserdampf angereichert werden.

Bei offenen Gasturbinenanlagen ist bekanntlich das Verbrennungsgas nicht ohne weiteres in einer Gasturbine zu verarbeiten. Die Verbrennungstemperaturen liegen im allgemeinen wesentlich höher als die aus Werkstoffgründen oberste zulässige Temperatur am Turbineneintritt. Die Herabsetzung der Temperatur der Verbrennungsgase auf die zulässige Turbineneintrittstemperatur erfolgt entweder durch Wärmeentzug mittels Dampfkessel zwischen Brennkammer und Gasturbine oder durch Zumischen von kälteren Medien zum Verbrennungsgas oder zu den Verbrennungsteilnehmern. Als zumischbares Medium wird vor allem Luft, aber auch Abgas oder Dampf verwendet. Dabei ist man bestrebt, die zuzumischenden Medien möglichst stark vorzuwärmen, wodurch einerseits Wärme von niedrigem Temperaturniveau in den Kreislauf rückgeführt werden kann und andererseits auch die für eine bestimmte Temperaturerniedrigung der Verbrennungsgase erforderliche Zumischmenge erhöht wird. Beide Umstände wirken sich auf den thermischen Wirkungsgrad günstig aus.

Für die Vorwärmung steht die Abwärme des Gasturbinenprozesses ganz oder teilweise zur Verfügung. Die Abgase verlassen die Gasturbine mit einer Temperatur, die beträchtlich über der Umgebungstemperatur liegt. Der thermische Wirkungsgrad einer Anlage ist umso besser, je weiter die Abgase heruntergekühlt werden. Es besteht somit die Aufgabe, mit dem Medium, das zur Herabsetzung der Temperatur den Verbrennungsgasen oder Verbrennungsteilnehmern zugemischt wird, die Temperatur der Abgase möglichst weit herabzusetzen.

Diese Aufgabe ist mit dem Zumischen von Luft nicht zu lösen, da die Luft infolge der notwendigen Verdichtung bereits stark erwärmt wird. Eine Kühlung der Abgase mit der Zumischluft vor deren Verdichtung ist aber deswegen nicht wirtschaftlich, weil dadurch die für die Verdichtung erforderliche Leistung zu sehr ansteigt und also die nach außen abgegebene Leistung der Gasturbinenanlage verkleinert wird.

Das gleiche gilt für die Zumischung von Abgas. Bei der normalerweise ein- oder allenfalls zweistufigen Verbrennung müßte ein großer Teil Abgas auf ein entsprechendes Druckniveau vor der Brennkammer verdichtet werden. Die Verwendung von Abgas ist in dieser Form unwirtschaftlich. Es ist hingegen vorgeschlagen worden, eine mehrstufige Verbrennung durchzuführen, in jeder Stufe nur eine Teilentspannung vorzunehmen und das Abgas jeder vorangegangenen Stufe zur Herabsetzung der Temperatur der folgenden Stufe zu verwenden. Dieses Verfahren wird erschwert durch die Notwendigkeit, daß für jede Stufe eine besondere Turbine vorgesehen werden muß. Es wäre natürlich sinnvoll, die Verdichtung von Brenngas und Verbrennungsluft auch mehrstufig vorzunehmen. Der sich daraus ergebende Aufwand an Maschinen würde die Anlage verteuern.

Damit verbleibt für die oben geschilderte Aufgabe die Dampfzumischung. Dabei wird - wie auch sonst bei Kesselanlagen - das Arbeitsmedium in flüssigem Zustand auf den erforderlichen Druck (hier mindestens Brennkammerdruck) gebracht, wozu eine, mit der Luftverdichtung verglichen, nur sehr kleine Leistung erforderlich ist. Das erforderliche Zusatzwasser würde also auf den entsprechenden Druck gebracht, im Abgasstrom vorgewärmt und verdampft und den Brenngasen und/oder der Verbrennungsluft vor deren Eintritt in die Brennkammer als Dampf zugemischt.

Dieses Verfahren hat aber bezüglich der Abwärmeausnutzung den Nachteil, daß die Verdampfungswärme an das Zusatzwasser bei einer Temperatur/^{im Abgas}übertragen werden muß, die höher liegt als die Siedetemperatur bei dem entsprechenden Druck im Zusatzwassersystem, der seinerseits mindestens dem Druck des Brennstoffes bzw. der Verbrennungsluft vor Eintritt in die Brennkammer entsprechen muß. Dadurch kann der Abgasstrom - sieht man einmal von der Wasservorwärmung auf Siedetemperatur ab - lediglich bis auf eine Temperatur/^{ab}gekühlt werden, die um den Betrag der für die Wärmeübertragung erforderlichen Temperaturdifferenz über der durch den Druck des Brennstoffs bzw. der Verbrennungsluft bestimmten Siedetemperatur liegt. Unter der Annahme, daß diese Temperaturdifferenz 20°C betragen soll, ließe sich demnach bei einem Brennkammerdruck von 10 atü der Abgasstrom nur auf 199°C abkühlen.

Um diesen Nachteil zu überwinden, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß der strömende, gasförmige Brennstoff und/oder die Verbrennungsluft einer Berieselung von mit Abwärme erwärmten Umlaufwasser ausgesetzt werden und sich dabei mit Wasserdampf sättigen, wobei der Druck des Umlaufwassers gleich dem Druck des Brennstoffs bzw. der Verbrennungsluft ist und die Temperatur des Umlaufwassers niedriger ist als die seinem Druck entsprechende Siedetemperatur.

Der Vorteil dieser Maßnahme ist sofort einzusehen, wenn man bedenkt, daß die Verdampfung des aus dem Umlaufwasser verdampfenden Zusatzwassers nunmehr nicht bei dem vollen Druck des Brennstoffs bzw. der Luft erfolgen muß, sondern bei einem von den angestrebten Sättigung abhängigen Teildruck des Wasserdampfes im Brennstoff bzw. in der Verbrennungsluft.

Nimmt man einmal an, daß bei einem Gesamtdruck des Brennstoffs bzw. der Verbrennungsluft von 10 ata der Wasserdampfdruck 5 ata betrage, so wäre für das Umlaufwasser eine höchste Temperatur von 151°C erforderlich. Bei der gleichen, für den Wärmeübergang im Abgasstrom erforderlichen Temperaturdifferenz von 20°C wie oben angenommen, könnte der Abgasstrom demnach bis auf 171°C abgekühlt werden. Diese weitere Abkühlung um 28°C entspricht bei einer "normalen" Abgastemperatur hinter der Gasturbine von 400°C eine Steigung der Abgaswärmenutzung von ca. 14 %. Dabei ist ebenso wie bei dem Vergleichsverfahren die Vorwärmung des Zusatzwassers außer Betracht geblieben.

Besonders vorteilhaft läßt sich das vorgeschlagene Verfahren mit einer bei manchen gasförmigen Brennstoffen erforderlichen Naßreinigung kombinieren. Die Naßreinigung besteht normalerweise in einer intensiven Waschung, vorwiegend mit Wasser, wobei sich zwangsläufig auch ein von Druck und Temperatur abhängiges Sättigungsgleichgewicht einstellt. Zur besseren Staubauswaschung wird häufig nach einer Sättigung die Temperatur um einige Grad gesenkt. Die festen Bestandteile bilden dabei Kondensationskerne für den teilweise kondensierenden Wasserdampf und werden mit dem Kondensat ausgespült. Eine derartige Naßreinigung kann mit der erfindungsgemäßen Wasserdampfanreicherung durch Ausnutzung von Abwässern in ein und

demselben Berieselungsapparat stattfinden. Sie kann aber auch vorgeschaltet sein, so daß von einem bereits gesättigten gasförmigen Brennstoff ausgegangen wird, der gemäß der Erfindung weiter mit Wasserdampf angereichert wird. Dabei wird selbstverständlich gleichzeitig das Temperaturniveau des gasförmigen Brennstoffes erhöht.

Beim offenen Gasturbinenprozeß mit durch Druckvergasung erzeugtem Brenngas kann erfindungsgemäß für die Berieselung ein Gemisch aus Wasser und Kohlenwasserstoffen benutzt werden.

Der Zusatz von Kohlenwasserstoffen ergibt eine bessere Auswaschung evtl. im Brenngas enthaltener Feststoffe.

Ein weiterer Vorteil des vorgeschlagenen Verfahrens wird darin gesehen, daß an das Zusatzwasser keinerlei Reinlichkeitsforderungen zu stellen sind. Es können sogar Abwässer benutzt werden, deren Beseitigung notwendig und u.U. mit beträchtlichen Kosten verbunden ist. Derartige Abwässer enthalten meist verdampfbare organische Bestandteile. Auf diesem Wege können also im offenen Gasturbinenprozeß neben der Abwärme weitere Abfallenergien nutzbar gemacht werden.

Das Verfahren ist auch anwendbar, wenn die offene Gasturbinenanlage mit einer Dampfturbinenanlage kombiniert ist. Das gilt sowohl für die Anordnung des Dampfkessels vor als auch nach der Turbine. Im ersten Fall sind ungenutzte Abwärmen im Abgasstrom vorhanden, doch auch im 2. Fall bleiben Abwärmen, die durch Umlaufwasser zur Anreicherung des Gases mit Wasserdampf ausnutzbar sind, übrig, da bei der Dampferzeugung im Dampfkessel der Abgasstrom der Gasturbine nicht so weit herabgekühlt werden kann wie bei dem vorgeschlagenen Verfahren.

Wenn das Gas mit wesentlich höherem Druck als dem der Brennkammer zur Verfügung steht oder erzeugt wird, so wird eine Entspannungsturbine vor der Brennkammer angeordnet. Dabei soll das Gas schon vor der Entspannungsturbine mit Wasserdampf angereichert und gegebenenfalls vor der Turbine überhitzt werden. Es kann ferner eine weitere Aufsättigung bei niedrigerem Temperaturniveau nach der Entspannungsturbine, also vor Eintritt in die Brennkammer, erfolgen.

Für die Erwärmung des Berieselungswassers können erfindungsgemäß neben der Abwärme des Abgasstromes hinter der Gasturbine auch andere Abwärmen des Prozesses herangezogen werden. Der relativ einfach zu handhabende Umlaufwasserstrom kann z. B. zur Zwischenkühlung bei der Luftkompression herangezogen werden.

Eine vorteilhafte Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens ergibt sich auch, wenn die offene Gasturbinenanlage mit einem durch Druckvergasung erzeugten Brenngas betrieben wird. In diesem Fall stehen aus dem Druckvergasungsprozeß zur Erwärmung weitere Abwärmen zur Verfügung. Ferner schließt die Druckvergasungsanlage in der Regel eine Naßreinigung ein, so daß die bereits geschilderte Kombination von Naßreinigung und anschließender weiterer Wasserdampfanreicherung angewendet werden kann.

Infolge der Ausnutzung von Abwärme niedriger Temperatur beim vorgeschlagenen Verfahren wird es sogar möglich, wenn auch noch das Zusatzwasser aufgeheizt und gegebenenfalls Speisewasser für den Dampfprozeß vorgewärmt wird, den Abgasstrom unter den Taupunkt abzukühlen und dadurch auch noch einen Teil der Verdampfungswärme, die sonst einen Verlust darstellt, zurückzugewinnen.

Durch hohe Sättigung des Gases und der Luft ist u.U. die Zündwilligkeit des Gemisches stark beeinträchtigt. Für diesen Fall wird die Verwendung eines Zünd- bzw. Verbrennungskatalysators in der Brennkammer vor der Gasturbine vorgeschlagen.

Das vorgeschlagene Verfahren eröffnet also sowohl bei der einfachen offenen Gasturbinenanlage, als auch bei deren Kombination mit der Druckvergasung und/oder einer Dampfturbinenanlage eine Möglichkeit, den Wirkungsgrad durch bessere Ausnutzung der Abwärme zu steigern. Die Anwendung ist aber nicht auf die hier genannten Beispiele beschränkt.

Immer dann, wenn Abwärme mittels unter Druck stehenden Umlaufwasser auf ein höheres Druckniveau gebracht werden kann, ohne daß dabei die Verdampfung bei dem vollen Druck stattfinden muß, ist das erfindungsgemäße Verfahren mit Erfolg anzuwenden.

Beschreibung anhand der Figuren und Beispiele:

Figur 1 stellt das vereinfachte Schaltschema einer offenen Gasturbinenanlage gemäß der Erfindung dar.

Figur 2 stellt das Schaltschema einer kombinierten Gasturbinen-Dampfturbinen-Anlage gemäß der Erfindung dar, wobei die Anordnung des Dampfkessels in Alternative a) vor und in Alternative b) nach der Gasturbine gewählt wurde.

Figur 3 stellt das Schaltschema einer bevorzugten Ausführungsform einer kombinierten Gasturbinen-Dampfturbinen-Anlage mit vorgeschaltetem Dampfkessel gemäß der Erfindung dar.

In Figur 1 tritt das beispielsweise unter Druck aus fossilen Brennstoffen erzeugte Gas durch Leitung 1 in den Naßwascher 2, in dem es von Verunreinigungen, insbesondere von Feststoffen, gereinigt wird und wobei je nach Druck und Temperatur der eintretenden Gase ein Sättigungszustand mit Wasserdampf erreicht wird. Das Kreislaufwasser, das gegebenenfalls auch

kondensierte Kohlenwasserstoffe enthält, wird durch Leitung 3 zum Abscheider 4 geführt, in dem die Feststoffe gegebenenfalls mit Kohlenwasserstoffen gemischt, abgeschieden und durch Leitung 5 zum Vergasungsprozeß zurückgeführt werden. Das Wasser gelangt durch Leitung 6 mit Umwälzpumpe wieder zum Wascher 2.

Durch Leitung 7 strömt das Gas in den Sättiger 8, in dem es mit Wasserdampf angereichert wird. Ein Teilstrom des aus dem Sättiger ablaufenden Wassers wird durch Leitung 9 dem Naßwascher 2 zugeführt, um die in ihm verdampfte Wassermenge zu ersetzen.

Der Wasserkreislauf für Sättiger 8 wird durch die Leitung 10, den Erhitzer 11 im Abgaskanal 12, die Leitung 13, den Nacherhitzer 14 im Rauchgasstrom vor der Turbine und die Leitung 15 geführt. Durch Leitung 16 und Vorwärmer 17 im Abgaskanal 12 wird dem Sättigungskreislauf sowie einem noch zu beschreibenden Luft-Sättigerkreislauf die erforderliche Wassermenge zugeführt.

Das aufgesättigte Gas gelangt durch Leitung 18 zur Brennkammer 19, in der es mit Luft gemischt und mit Hilfe eines Zündkatalysators verbrannt wird. Die Verbrennungsluft wird durch Leitung 20 vom Luftverdichter 21 angesaugt und komprimiert, gelangt durch Leitung 22 in den Sättiger 23, der mit einem Wasserkreislauf über Leitung 24, Erhitzer 25 im Abgaskanal 12 und über Leitung 26 für eine Anreicherung der Luft mit Wasser sorgt. Die aufgesättigte Luft gelangt durch Leitung 27 in die Brennkammer 19. Ein Teilstrom wird durch Leitung 28 dem Erhitzer 29 und Leitung 30 als Vergasungsmittel für die Gaserzeugung abgegeben.

Das heiße Rauchgas gibt nach der Verbrennung im Überhitzer 29 und dem Wassernacherhitzer 13 Wärme ab und gelangt durch

Leitung 32 in die Gasturbine 31, in der es arbeitsleistend entspannt wird. Die Abgase werden durch Leitung 34 in den Abgaskanal 12 geführt, in dem die Abwärme durch die Wärmeaustauscher 25, 11 und 17 weitgehend zur Sättigung von Gas und Luft ausgenutzt wird. Die Turbine 31 treibt einerseits den Kompressor 21 an und andererseits den Stromerzeuger 33.

Wenn das Gas bereits gereinigt unter Druck zur Verfügung steht, wie z. B. Erdgas oder komprimiertes Koksofengas, entfallen die Teile Nr. 1 bis 6 und 9, und das Gas tritt durch Leitung 7 in den Sättiger ein. Ferner entfallen auch die Teile 28 bis 30, da kein Vergasungsmittel benötigt wird.

Bei Figur 2, Alternative a), entspricht der erste Teil bis zum Sättiger 108 genau der Beschreibung von Figur 1. Der Wasserkreislauf für Sättiger 108 wird durch Leitung 110, Wassererhitzer 111 im Abgaskanal 112 und Leitung 113 geführt. Zusatzwasser kommt durch Leitung 114, Vorwärmer 115 und Leitung 116 zum Kreislauf des Sättigers 108 sowie durch Leitung 117 zum Luftsättigungskreislauf.

Das Gas gelangt durch Leitung 118 zum Brenner 119. Die Luft gelangt durch Leitung 120, Verdichter 121, Leitung 122, Sättiger 123 mit Kreislauf 124 und durch Leitung 125 zum Brenner 119. Ein Teilstrom der Luft wird durch Leitung 126 als Luft für die Vergasung geliefert.

Direkt nach dem Brenner 119 ist ein aufgeladener Dampfkessel 127 angeordnet, in dem überhitzter Dampf erzeugt wird. Dieser Dampf gelangt durch Leitung 128 zur Dampfturbine 129 mit einer Entnahme von Dampf zur Abgabe für die Vergasung durch Leitung 130 und Kondensator 131.

Durch Leitung 132 wird das Dampfkondensat nach Zusatz von frischem Speisewasser durch Leitung 133 im Vorwärmer 134 und Erhitzer 135 durch Leitung 136 dem Kessel 127 zugeführt. Die Dampfturbine 129 treibt den Elektrogenerator 137 an.

Das Rauchgas aus Brenner 119 wird nach Wärmeentzug durch Kessel 127 über Leitung 138 zur Gasturbine 139 geleitet, in der es arbeitsleistend entspannt wird. Das Abgas strömt durch Leitung 140 in den Abgaskanal 112, in dem die Abwärme in den Wärmeaustauschern 111, 135, 134 und 115 ausgenutzt wird. Die Gasturbine 139 treibt einerseits die Luftturbine 121 und andererseits den Elektrogenerator 141 an.

Die Beschreibung der Abbildung 2, Alternative b), unterscheidet sich nur in folgenden Punkten von der vorhandenen Beschreibung:

Der Dampfkessel 227 ist im Abgaskanal 212 angeordnet, während der Wassererhitzer 211 sowie ein Dampfüberhitzer 236, der zum Dampfkessel 227 gehört, unmittelbar nach dem Brenner 219 angeordnet werden.

Figur 3:

Durch die Leitung 301 tritt das unter höherem Druck aus fossilen Brennstoffen erzeugte Gas mit einer über dem Sättigungspunkt liegenden Temperatur in den Wascher 302

in dem das Gas gewaschen und gleichzeitig mit Hilfe der Abwärme des Vergasungsprozesses gesättigt wird.

Der Wascher ist unterteilt in eine Grobwäsche mit einem unter Druck stehenden Wasserkreislauf 303, einer Nachsättigung mit dem Wasserkreislauf 304, der entspannt und über einen Abscheider 315, der nach dem Schwereprinzip arbeitet, geführt und vor Eintritt wieder auf Druck gebracht wird, sowie einen Nachwascher, dem das Zusatzwasser über die Leitung 305 zugeführt wird.

Bei einer Kohlevergasung im Gegenstrom fallen in dem Wascher gleichzeitig Kohlenwasserstoffe, wie Teer und Öl aus, die bevorzugt Staub aufnehmen, so daß aus dem Abscheider 315 eine Mischung von Staub und Kohlenwasserstoffen entnommen und durch Leitung 306 dem Gaserzeuger wieder zugeführt werden können. Bei einer Ölvergasung oder Kohlevergasung im Gleichstrom oder Wirbelbett können die für die Waschung vorteilhaften Kohlenwasserstoffe durch Leitung 307 zugesetzt werden.

Das gesättigte Gas fließt durch Leitung 308 in den Nebelerzeuger und Abscheider 309, in dem der Rest an festen Stoffen durch Einspritzung von kaltem Wasser durch Leitung 310 und dadurch verursachte Nebelbildung entfernt wird. Durch Leitung 311 gelangt das Gas dann in den Sättiger 312, der einen Hauptsättigungsteil mit dem unter Druck stehenden Wasserkreislauf 313, der über einen Erhitzer 314 im Abgasstrom 344 geführt wird, sowie einen Nachwascher, in dem durch die Leitung 316 über den Erhitzer 317 im Abgasstrom vorgewärmtes Wasser aufgegeben wird, und einen Tropfenabscheider besitzt.

Durch Leitung 307 können dem Hauptkreislauf 313 wieder Kohlenwasserstoffe zugesetzt werden. Bei Gegenstromver-

gasung von Kohle kann dabei überschüssiger Klarteer bzw. Öl aus dem eigenen Prozeß verwendet werden.

Das Gas tritt dann durch die Leitung 318 aus und wird im Wärmeaustauscher 319 durch heißes Abgas überhitzt, um dann in der Entspannungsturbine 320 unter Energieerzeugung auf den Druck der Brennkammer 321 entspannt zu werden.

Unmittelbar an die Brennkammer schließt sich der Dampfkessel 322 an, in dem überhitzter Dampf erzeugt wird, der in der Dampfturbine mit Kondensator 323 Arbeit leistet und den Elektrogenerator 324 antreibt.

Das kalte Dampfkondensat wird über die Leitung 325 nach Zugabe von Zusatzspeisewasser über die Leitung 326 zunächst im Vorwärmer 327 im Abgasstrom erwärmt, dann im Entgaser 328 entgast und im Erhitzer 329 vorerhitzt, um wieder dem Dampfkessel zugeführt zu werden.

Das mit der zulässigen Temperatur aus dem Dampfkessel austretende Rauchgas gelangt durch Leitung 330 in die Gasturbine 331, in der es arbeitsleistend entspannt wird. Durch Leitung 332 gelangt das Abgas in den Abgaskanal 344 und von dort nach Abgabe seiner fühlbaren Wärme an die Atmosphäre.

Die Gasturbine 331 treibt den Elektrogenerator 333 an, sowie den Luftverdichter 334, der die Luft auf den Druck der Brennkammer verdichtet. In einem Sättiger 335 wird ein Teil der fühlbaren Wärme aus der Kompression zur Auf-sättigung der Luft verwendet, wobei durch Leitung 336 kaltes oder auch warmes Wasser zugeführt wird. Ein Teil der gesättigten Luft gelangt dann in die Brennkammer 321, ein weiterer Teil wird im Verdichter 337 nachverdichtet, und durch die Leitung 338 dem Vergaser zugeführt. Der Nachverdichter 337 wird durch die Entspannungsturbine 320 angetrieben, die gleichzeitig den Elektrogenerator 340 antreibt.

109832/0815

Aus dem Abscheider 315 wird eine kleine Menge möglichst gut abgeschiedenen Wassers über die Leitung 339 als Abwasser abgegeben. Dadurch werden Chlorverbindungen und andere gut lösliche, meist schädliche Bestandteile in aufkonzentrierter Form abgestoßen. Das durch Leitung 342 zugeführte Zusatzwasser für die Sättigung wird zum Teil über den Wärmeaustauscher 343 geführt, in dem das durch Leitung 304 abgeführte Wasser des zweiten Kreislaufes für den Wascher 302 bis etwa 100°C abgekühlt wird.

Das vorerhitzte Zusatzwasser dient für den Nachwaschteil des Sättigers 312, sowie evtl. für die Sättigung der Verbrennungsluft im Sättiger 335. Das übrige noch kalte Zusatzwasser wird durch Leitung 310 dem Nebelerzeuger und Abscheider 309 zugeführt, sowie evtl. dem Sättiger 335.

Beispiel 1 - Stromerzeugung aus Kohle

Eine Tonne Gasflammkohle mit 7,5 % Feuchtigkeit und 14,5 % Asche, unterer Heizwert = 5850 kcal/kg wird mit 1440 Nm^3 Luft und insgesamt $0,707\text{ t}$ Dampf bei 20 ata Druck im Gegenstrom vergast, wobei 2840 Nm^3 Gas mit folgender Analyse entstehen:

CO_2	14,0 %
C_nH_m	0,2 %
CO	15,8 %
H_2	25,0 %
CH_4	5,0 %
N_2	40,0 %

Das Gas enthält außerdem $0,142\text{ kg/Nm}^3$ Wasserdampf, sowie etwa 30 g/Nm^3 Schwelprodukte und hat eine Gasaustritts-temperatur von 550°C .

Dieses Gas wird zunächst mit eigenem Kondensat und Zusatzwasser im Wascher 302 gewaschen, wobei die Überhitzungs-

Wärme des teer- und staubhaltigen Gases ausgenutzt und eine Sättigungstemperatur von 162°C erreicht wird. Durch Einspritzung von kühlem Zusatzwasser im Abscheider 309 wird danach das Gas auf 161°C gekühlt, wobei sich Nebel bilden, mit denen die letzten Spuren Staub aus dem Gas entfernt werden.

Es folgt eine Aufsättigung im Sättiger 312 mittels eines Wasserkreislaufes, der mit Abwärme aus den Rauchgasen hinter der Gasturbine erhitzt wird. Es folgt eine Nachwäsche und Nachsättigung zur Entfernung evtl. noch vorhandener schädlicher Stoffe wie Chlorverbindungen, Vanadium und Natrium mit durch Wärme aus den Gaskondensaten und aus den Turbinenabgasen erhitztem, sauberem Zusatzwasser. Das Gas hat danach eine Sättigungstemperatur von 165°C und ein Wasserdampfgehalt von $0,5\text{ kg/Nm}^3$ bei einem Druck von 19,5 ata.

Da bei der Gegenstromvergasung die Schwelprodukte ins Gas gelangen, werden bei der Temperatursenkung im Wascher höhere Kohlenwasserstoffe auskondensiert. Diese waschen besonders intensiv den mitgerissenen Staub aus. Nach Abführung und Entspannung eines Teiles der Waschflüssigkeit erfolgt im Abscheider 315 durch Schichtenbildung eine Trennung der Kohlenwasserstoffe von Wasser, wonach die staubhaltigen Kohlenwasserstoffe in den Gaserzeuger und das Wasser in den Waschkreislauf zurückgepumpt werden.

Ein kleiner Teil des Wassers, der zur Entfernung von Chlorverbindungen und anderen, gut löslichen Bestandteilen dient, muß abgeführt werden.

Nach Erhitzung des gesättigten Gases im Wärmeaustauscher 319 mit Abwärme aus den Rauchgasen auf 220°C wird es in einer Entspannungsturbine 320 auf 12 ata entspannt.

Die Turbine treibt den Nachverdichter 337 für die Vergasungsluft zur Verdichtung von 12 auf 23 ata an und außerdem noch einen Elektrogenerator 340 der 55 kW/h Strom erzeugt.

7320 Nm³ Luft werden im Luftverdichter 334 auf 12,5 ata verdichtet und durch Berieselung mit Wasser im Luftsättiger 335 abgesättigt, so daß die Luft einen Wasserdampfgehalt von 0,104 kg/Nm³ und eine Temperatur von 108° C hat.

Nach Abgabe der Luft für die Vergasung bleiben noch 5880 Nm³ für die Verbrennung des aus der Entspannungsturbine kommenden Gases in der Brennkammer 321, an die ein Dampfkessel 322 angeschlossen ist, in dem das Rauchgas auf 800° C für den Eintritt in die Gasturbine abgekühlt wird. Die Rauchgasmenge beträgt (einschließlich Dampf) 10660 Nm³. In der Turbine 331 wird das Temperaturgefälle bis auf 400° C verarbeitet, wobei der Druck auf atm.-Druck absinkt. Die Arbeitsabgabe an der Welle der Turbine beträgt 1780 kWh, der Luftkompressor benötigt 820 kWh, aus der Differenz werden 925 kWh Strom erzeugt.

Im Kessel 322 werden 5,4 t Dampf mit 110 at und 520° C erzeugt, die in der Dampfturbine 323 zuerst auf 24 ata und dann nach Abzug des Vergasungsdampfes weiter entspannt und kondensiert wird. Eine kleine Dampfmenge zum Strippen des Speisewassers im Entgaser wird bei 3 ata abgezogen. Der von der Dampfturbine angetriebene Generator 324 erzeugt 1550 kWh Strom. Die gesamte Stromerzeugung beträgt also 2530 kWh.

Das Zusatzwasser wird mit 20° C, wie in der Figur dargestellt, zugeführt. Seine Menge ergibt sich:

Abwassermenge	0,062 t
Verdampfung ins Gas	1,017 t
Verdampfung in die Luft (zusätzlich zur Luftfeuchtigk.)	0,724 t

1,802 t

109834/0815

0,36 t Zusatzwasser dienen in dem Wärmeaustauscher 343 zur Kühlung des Wassers, das entspannt werden muß, und werden nach Aufwärmung im Frischwassererhitzer 317 für die Nachwäsche im Sättiger 312 verwendet, der Rest wird kalt zugeführt. Im Rauchgaskanal 344, hinter der Gasturbine 331 werden nacheinander folgende Wärmemengen übertragen:

Im Gaserhitzer 319	87500 kcal
im Umwälzwassererhitzer 314	142000 kcal
im Frischwassererhitzer 317	5500 kcal
im Hochdruckspeisewasser- erhitzer 329	774000 kcal
im Speisewasservorwärmer 327	464000 kcal
	<hr/>
	1.473000 kcal

Davon werden 251.000 kcal unterhalb des Sättigungspunktes, der bei 71° C liegt, durch Kondensation von Wasserdampf aus dem Rauchgas entnommen.

Falls das kalte zugeführte Zusatzwasser auch noch im Rauchkanal erhitzt würde, könnten noch weitere 67 000 kcal aus der Kondensationswärme nutzbar gemacht werden.

Die auf 23 ata verdichtete Vergasungsluft enthält	0,150 t
Dampf, aus dem Wassermantel der Gaserzeuger stammt	0,193 t
Dampf, Frischdampf aus der Dampfturbine	0,364 t
	<hr/>
	0,707 t Dampf

Der Speisewasserzusatz errechnet sich:

Gaserzeugermantel	0,193 t
Frischdampf für Vergasung	0,364 t
Verlust im Wasserdampfkreislauf	0,118 t
Frisches Speisewasser	0,675 t

Wenn man den Heizwert der Kohle zu dem daraus erzeugten Elektrostrom ins Verhältnis setzt, so ergibt sich:

$$\frac{5850 - 1000}{2530} = 2310 \text{ kcal/kWh}$$

wobei jedoch der sehr geringe Strombedarf für die Pumpen noch nicht berücksichtigt ist.

Beispiel 2 - Stromerzeugung aus Schweröl

Dieses Beispiel wurde, ähnlich wie Beispiel 1, durchgerechnet, wobei jedoch folgende Änderungen vorgenommen wurden:

Infolge der sehr hohen Vergasungstemperaturen ist es zweckmäßig, einen Abhitzekessel für die Erzeugung von Hochdruckdampf vor die Waschung und Sättigung vorzuschalten. Die Sättigung der Luft wurde hier nicht in Betracht gezogen. Es wurde angenommen, daß Luft mit dem Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre verwendet wird. Vor der weiteren Verdichtung muß dann die Vergasungsluft gekühlt werden, wobei die Wärme an die Wasserkreisläufe übertragen wird. Unter Berücksichtigung des Wasserdampfgehaltes ergibt sich dabei bereits ein sehr niedriger Heizwert, so daß in der Brennkammer zweckmäßigerweise ein Verbrennungskatalysator angeordnet wird.

Eine Tonne Schweröl mit dem unteren Heizwert von 9800 kcal/kg wird mit 4650 Nm³ Luft, in denen 0,1 to Wasserdampf enthalten sind, bei 21 ata Druck vergast, wobei 6250 Nm³ Gas mit folgender Analyse entstehen:

CO ₂	2,0 Vol.-%
CO	22,4 "
H ₂	16,2 "
CH ₄	0,1 "
N ₂	58,9 "
H ₂ S	0,4 "
	<hr/>
	100,0 "

Der Wasserdampfgehalt beträgt $0,043 \text{ kg/Nm}^3$ trockenes Gas. Es entstehen $0,021 \text{ to}$ Ruß, die mit dem Gas herausgetragen werden. Nach dem Abhitzekessel, in dem $3,85 \text{ to}$ Sattedampf von 120 ata erzeugt werden, von denen $0,15 \text{ to}$ für die Schwerölerhitzung verbraucht werden, steht das Gas mit 330° C zur Verfügung.

Dieses Gas wird zunächst im Wascher 302 gewaschen, wobei eine Sättigungstemperatur von 134° C erreicht wird. Im Abscheider 309 wird durch Einspritzung von kaltem Wasser das Gas auf 132° C gekühlt, wobei die Nebelbildung zur Abscheidung von restlichem Ruß dient. Es folgt eine Aufsättigung im Sättiger 312 mittels eines Waschkreislaufes der im Wärmeaustauscher 314 mit Abwärme aus dem Rauchgas nach der Turbine aufgeheizt wird. Danach wird das Gas noch mit dem zuzusetzenden Frischwasser nachgewaschen, so daß es mit einer Sättigungstemperatur von 159° C und einem Druck von $19,5 \text{ ata}$, Wasserdampfgehalt $0,393 \text{ kg/Nm}^3$, aus dem Sättiger austritt.

Zur besseren Auswaschung von Ruß werden 400 kg des zu vergasenden Schweröles den Wasserkreisläufen zugesetzt und zwar 100 kg zum Sättigerkreislauf. Dieses Öl gelangt dann mit dem Überschußwasser in den Wascher 302, in dem die weiteren 300 kg direkt zugesetzt werden. Diese 400 kg Öl werden nach Druck-Entspannung eines Teiles des Wascherkreislaufes im Abscheider 315 vom Wasser getrennt und zusammen mit dem aufgenommenen Ruß und den übrigen 600 kg Schweröl der Vergasung zugeführt. Das abgetrennte rußfreie Wasser wird zum Wascher 302 wieder zurückgepumpt, bis auf einen kleinen Teil, der zur Abführung der löslichen Bestandteile wie Natrium- und Vanadium-Verbindungen abgeführt werden muß.

Es sind insgesamt $2,21 \text{ t}$ Zusatzwasser erforderlich, von denen $0,32 \text{ t}$ in dem Abscheider 309 eingespritzt und

1,89 to nach Erwärmung mit Abwärme aus dem abgeführten Wasser-Öl-Ruß-Gemisch im Wärmeaustauscher 343 und aus der Vergasungsluft zwischen den Turboverdichtern 334 und 337 (in Fig. 3 nicht gezeichnet), dem Sättiger 312 zugeführt werden.

Nach Erhitzung im Wärmeaustauscher 319 mit Abwärme aus dem Abgas wird das Gas in der Entspannungsturbine 320 auf 12 ata entspannt. Die Turbine treibt den Nachverdichter 337 und den Elektro-Generator 340 an, wobei aus der Differenzleistung 40 kWh Strom erzeugt werden.

Im Luftverdichter 334 werden $13\,050\text{ Nm}^3$ Luft auf 12 ata verdichtet, von denen 4650 Nm^3 für die Verbrennung weiter verdichtet und 8400 Nm^3 für die Verbrennung des Gases in der Brennkammer 321 dienen.

Im Dampfkessel 322 wird die Temperatur der Rauchgase auf 800°C gesenkt, für den Eintritt in die Gasturbine 331. Bei der Entspannung in der Turbine wird das Temperaturgefälle bis 400°C ausgenutzt. Die Turbine 331 treibt den Luftverdichter 334 und den Elektrogenerator 333 an. Aus der Differenzleistung werden 1470 kWh Strom erzeugt.

Im Kessel 322 werden 4,4 t Dampf erzeugt und zusammen mit dem Dampfüberschuß 3,7 t aus dem Abhitzeessel der Vergasung überhitzt, so daß 8,1 t mit 110 ata und 520°C in die Dampfturbine 323 eintreten. Zu dem von ihr angetriebenen Elektrogenerator 324 werden 2520 kWh Strom erzeugt. Das Speisewasser für die Dampferzeugung wird im Rauchgasstrom in den Wärmeaustauschern 327 und 329 erhitzt, wobei auch noch Wärme unterhalb des Taupunktes, 66°C , ausgenutzt wird.

Die gesamte Stromerzeugung beträgt also 4030 kWh, so daß der spezifische Wärmeverbrauch $9800 : 4030\text{ kcal/kWh} = 2430\text{ kcal/kWh}$ beträgt.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

- 1) Verfahren zum Betreiben einer offenen Gasturbinenanlage mit gasförmigen Brennstoffen und Verbrennungsluft, wobei die gasförmigen Brennstoffe und/oder die Verbrennungsluft vor dem Eintritt in die Brennkammer mit Wasserdampf angereichert werden, dadurch gekennzeichnet, daß der strömende gasförmige Brennstoff und/oder die Verbrennungsluft einer Berieselung von mit Abwärme erwärmten Umlaufwasser ausgesetzt werden und sich dabei mit Wasserdampf sättigen, wobei der Druck des Umlaufwassers mindestens gleich dem Druck des Brennstoffes bzw. der Verbrennungsluft ist und die Temperatur des Umlaufwassers niedriger ist als die seinem Druck entsprechende Siedetemperatur.
- 2) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wasserdampfanreicherung des gasförmigen Brennstoffs mit dessen Naßreinigung kombiniert wird.
- 3) Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß für die Erwärmung des Berieselungswassers die Abwärme des Abgasstromes hinter der Gasturbine und/oder sonstige Abwärme des Prozesses ausgenutzt wird.
- 4) Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 auf eine offene Gasturbinenanlage, die mit durch Druckvergasung erzeugtem Brenngas betrieben wird, dadurch gekennzeichnet, daß für die Erwärmung des Berieselungswassers Abwärme des Vergasungsprozesses ausgenutzt wird.
- 5) Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Berieselung ein Gemisch aus Wasser und Ölen bzw. Teer benutzt wird.

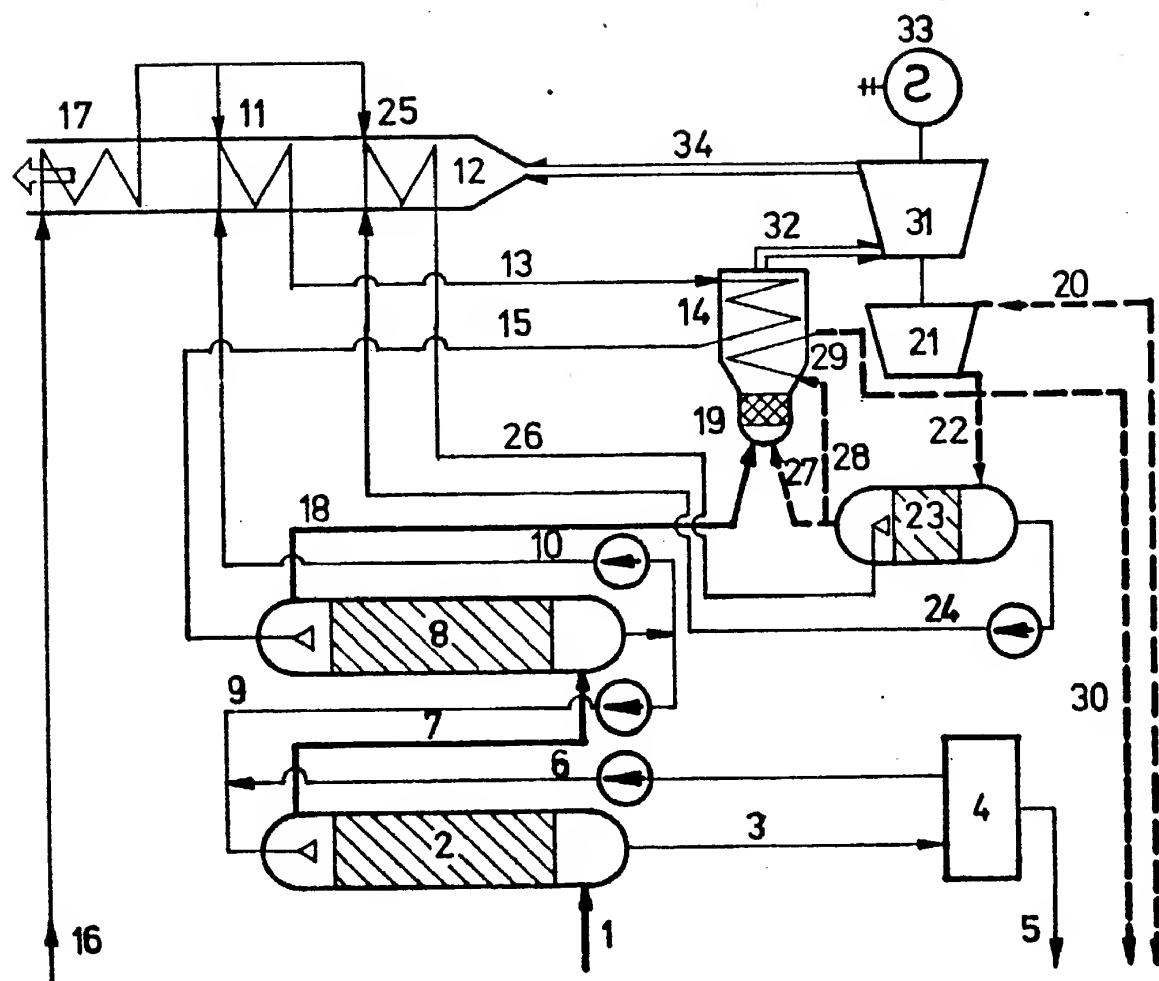
- 6) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Zusatzwasser lösliche organische Bestandteile enthält.
 - 7) Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6 auf eine mit einer Dampfturbinenanlage kombinierte offene Gasturbinenanlage.
 - 8) Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auf eine offene Gasturbinenanlage mit einer der Brennkammer vorgeschalteten Entspannungsturbine und gegebenenfalls zusätzlicher Wasserdampfanreicherung nach der Entspannungsturbine.
 - 9) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Turbinenabgase durch das Zusatzwasser und/oder Speisewasser der Dampfturbinenanlage bis unter ihren Taupunkt abgekühlt werden.
 - 10) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennung der mit Wasserdampf angereicherten Verbrennungsteilnehmer unter Zuhilfenahme eines Katalysators erfolgt.
-

Leerseite

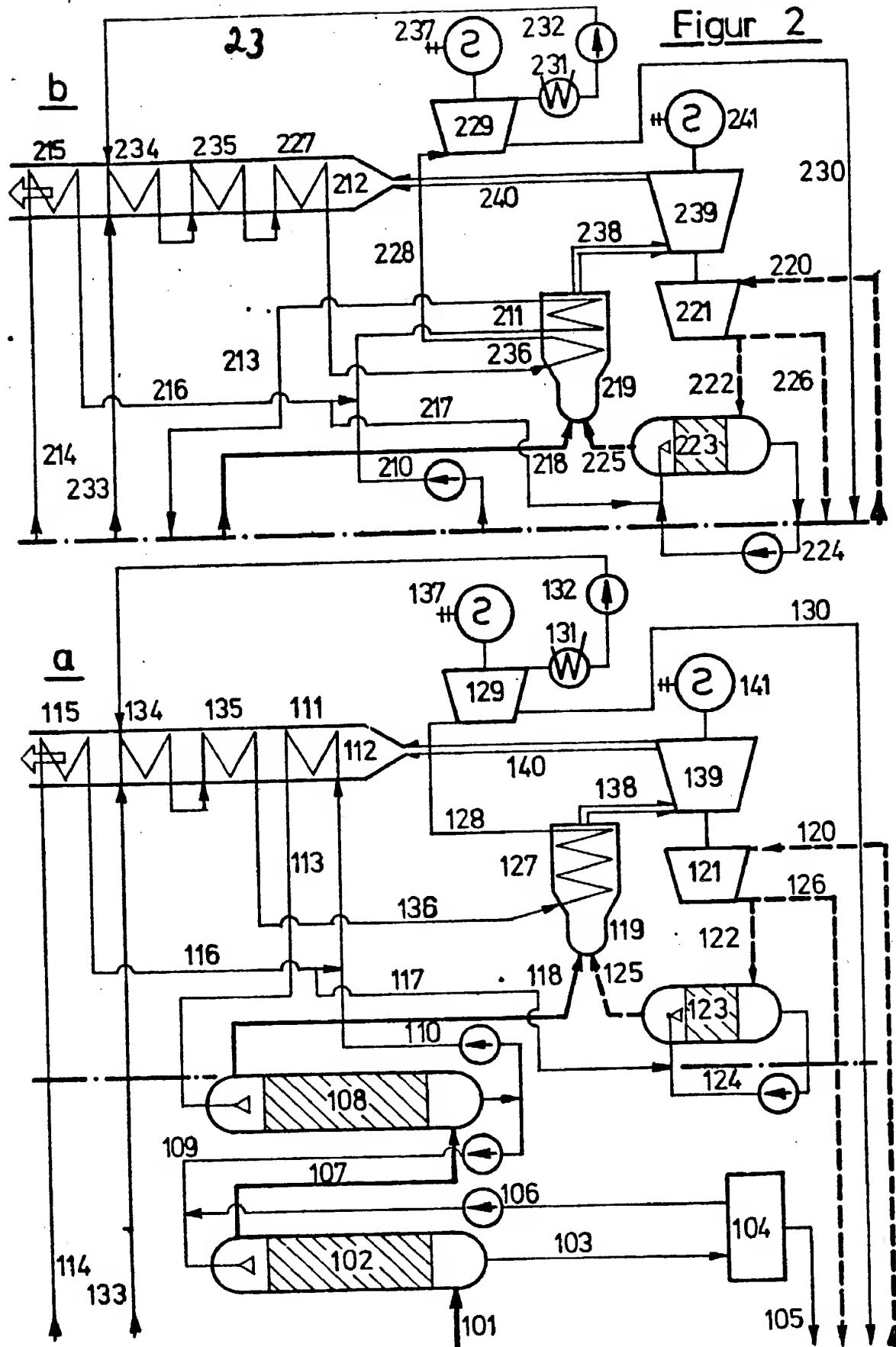
22

25

X

Figur 1

Figur 2



325

24

Figur 3

